

⑫ 公開特許公報 (A)

昭55-16253

① Int. Cl.³
G 01 F 1/66
G 01 S 11/00

識別記号

庁内整理番号
7625-2F
7436-5J

⑬ 公開 昭和55年(1980)2月4日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 7 頁)

⑭ パルス式超音波ドップラー流速計

① 特 願 昭53-89037

② 出 願 昭53(1978)7月21日

⑦ 発 明 者 山本美明

東京都大田区南蒲田2丁目16番
46号株式会社東京計器内

⑦ 発 明 者 浅田秀一

東京都大田区南蒲田2丁目16番
46号株式会社東京計器内

⑦ 発 明 者 田村幸三

東京都大田区南蒲田2丁目16番
46号株式会社東京計器内

⑦ 発 明 者 稲垣作樹

東京都大田区南蒲田2丁目16番
46号株式会社東京計器内

⑦ 出 願 人 株式会社東京計器

東京都大田区南蒲田2丁目16番
46号

明 細 書

1 発明の名称

パルス式超音波ドップラー流速計

2 特許請求の範囲

流体の流れ方向に対し直角方向に予め定めた距離を隔てて配置される1組の送受波器と、該送波器から流体の流れ方向に対して斜めに超音波パルスを発射し、流体と共に移動する粒子から散乱反射する超音波パルスと前記送波器から直接伝搬する超音波パルスとを受け取る前記受波器から直接波信号と散乱反射波信号とよりなる受信信号を受信し増巾する受信増巾回路と、同期信号を発生しパルス回路とグート回路に前記同期信号を送る同期回路と、前記同期信号に同期して前記送波器に送信パルス信号を送り前記直接波信号と前記散乱反射波信号とが時間的に重ならないように選ばれたパルス幅をもつ超音波パルスを発生させる前記パルス回路と、前記同期信号に同期して第1グートとこれに続く第2グ

トとを発生するグート回路と、前記受信増巾回路からの出力信号と前記グート回路からのグート出力信号との論理積をとり前記直接波信号と前記散乱反射波信号とを第1グートと第2グートに分離する信号選択回路と、前記直接波信号と前記散乱反射波信号のそれぞれの波数をN個計数するプリセットカウンタ回路と、該回路からの出力を第1、第2グートに同期して切換え、第1、第2カウンタ回路に導びく切換器と、クロックパルスを発生するクロックパルス発生回路と、該回路からのクロックパルスを受け前記直接波信号と前記散乱反射波信号のそれぞれの波数のN個に対応する時間を計数する前記第1ならびに第2カウンタ回路と、前記クロックパルスを受けて前記送信パルス信号と前記直接波信号との立上り時刻の差を計数する音速補正回路と、該回路からの出力計数と前記第1ならびに第2カウンタ回路からの出力計数とを入力して流速を演算する流速演算回路と、該回路からの出力を表示する表示回路とよりなるパルス式超音波ド

プラー流速計。

3 発明の詳細な説明

本発明は主として管中を流れる流体の流速測定に利用されるもので従来の連続波を用いた超音波ドップラ流速計においては困難であつた流体中の音速の自動補正と管外壁を通しての流速測定をパルス波を用いることにより可能としたパルス式超音波ドップラー流速計に関する。

従来技術の課題を従来の超音波ドップラー流速計を述べることによつて説明する。第1図は従来の連続波を用いる超音波ドップラー流速計の原理説明図である。第1図において1組の送波器Tと受波器Rとは管外壁40の内側に流体の流れ方向に対して直角方向に配置され送波器Tから流れ方向に対して斜めに角度 θ で超音波の周波数 f_1 なる連続波が発射される。流体中の照射域41の領域にある粒子が流速Vで矢印の方向に移動していると受波器Rにはドップラー変調を受けた受信波が受波され高周波増幅器33で増幅され混合器34に導びかれる。発振器31

特開昭55-16253(2)

からは周波数 f_1 なる連続波が送信され、電力増幅器32で増幅されて送波器Tに印加され。送波器Tは超音波の周波数 f_1 なる連続波を発射する。発振器31からの周波数 f_1 なる連続波はまた混合器34に導びかれて流速Vに比例するドップラシフト周波数 f_d の連続波が得られる。この連続波は低周波増幅器35で増幅され、周波数・デジタル変換器36によりデジタル出力38を得、更にデジタル・アナログ変換器37によりアナログ出力39を得る。周波数 f_1 と f_d との関係は、

$$f_d = \frac{2V \cdot \cos \theta}{C} f_1 \quad (1)$$

である。ここにCは流体中の音速である。(1)式から流速Vを求めるには流体中の音速Cを知る必要がある。水中を例にとると水中音速は水温1℃につき0.2～0.3%の変化があるので流速Vを0.5%位の精度で測定するには音速の変化による誤差を無視することができず、水温を実際に補正を加えるようにすることが普通である。このように温度による水中の音速の補正は

- 3 -

サーミスタ等を使用した温度測定により可能であるが実時間で直ちにレスポンスを得ることはむづかしい。また水が塩水とか工場排水など特殊成分を含むときは音速の補正は水温変化だけを考えたのでは不十分であり、補正対策が困難で実時間で精度の高い補正は不可能であつた。もう1つの課題は超音波を送受する送受波器の振動子の前面にプラスチック板をつけ、これを管外壁40の外側に配置して流体の流速を測定するいわゆる外管透過方式にすると、管内流体中の懸濁物からの散乱反射がいたるところから得られる。これは超音波が管壁中を反射を繰返しながら伝搬する際にその一部エネルギーは流体中に放射される。この放射の状況は送・受波器の指向性に関係し、第4図に詳細に説明するように強弱な散乱反射が得られる点はある狭い領域、例えば第1図の照射域のような所に限定されず、測定値が管内の何処の流速を示しているのか解らないということになり、測定点とその流速を正確に決めることができないという欠

- 5 -

- 4 -

陥がある。

本発明の目的は流体中の音速の自動補正をリアルタイムで行ない、かつ管外壁を透過して流体の流速測定を迅速な応答で高精度に行なうことのできるパルス式超音波ドップラー流速計を提供しようとするものである。本発明になる流速計によれば既設管の任意の場所に、任意の時期に送・受波器を取り付け、流体が塩水であろうが工場排水であろうが選択自由で、流体の停止、遮断を行なう必要がなく、流体の腐蝕性や高圧に留意する必要もない。従つて送受波器を装着することによる流体の圧力損失や送受波器の劣化する恐れもなく、交換装備も容易であるという数多くの利点がある。

以下図面により詳細に説明する。第2図は本発明にかかるパルス式超音波ドップラー流速計の1実施例を示すブロック図である。第3図は第2図において指示した要所の波形図である。第1および第2図において流体の流れ方向(矢印で示す)に対し直角方向に予め定めた距離Lを

- 6 -

隔てて1組の送波器3と受波器4とが配置される。流体の流速をVで示す。送波器3から流体の流れ方向に対し斜めに角度 θ で超音波パルスを発射し、液体と共に移動する粒子から散乱反射する超音波パルス r と送波器3から直接伝搬する超音波パルス p とを受け受波器4から直接波信号 p' と散乱反射波信号 r' とよりなる受信信号 b を受信し増幅する受信増幅回路5と。同期信号 a を発生しパルサ回路2とゲート回路6に同期信号 a を送る同期回路1と、同期信号 a に同期して送波器3に送信パルス信号 i' を送り直接波信号 p' と散乱反射波信号 r' とが時間的に重ならないように選ばれたパルス幅 T_w をもつ超音波パルスを発生させるパルサ回路2と、同期信号 a に同期して第1ゲートとこれに続く第2ゲートを発生するゲート回路6と、受信増幅回路5からの出力信号とゲート回路6からのゲート出力信号との論理積をとり直接波信号 p' と散乱反射波信号 r' とを夫々第1ゲートと第2ゲートに分離する信号選択回路7と、直接波信号 p' と散

乱反射波信号 r' とのそれぞれの波数をN個計数するプリセットカウンタ回路8と、該回路からの出力を第1、第2ゲートに同期して切換え第1、第2カウンタ回路10、11に導びく切換器9と、クロックパルスを発生するクロックパルス発生回路12と、該回路からのクロックパルスを受け直接波信号 p' と散乱反射信号 r' のそれぞれの波数のN個に対応する時間 n_1 、 n_2 を計数する第1カウンタ回路10ならびに第2カウンタ回路11と、クロックパルスを受けて送信パルス信号と直接波信号 p' との立上り時刻の差を計数する音速補正回路14と、該回路からの出力計数 n_d と第1、第2カウンタ回路10、11からの出力計数 n_1 、 n_2 とを入力して流速Vを演算する流速演算回路13と、該回路からの出力をデジタル又はアナログで表示したり記録したりする表示回路15とより構成されるものが本発明になるパルス式超音波ドップラー流速計である。更にそれぞれの回路について要点を説明する。同期回路1は繰返し周期 T_R でパルス巾 T_w の第

- 7 -

- 8 -

3図に示す同期信号 a を発生する。繰返し周期 T_R は流体中の超音波残響が十分に減衰消失する時間に選定され、例えば1ms程度である。パルス巾 T_w は所望の波数からなるパルス波形の列を作る時間幅で例えば4 μ s程度である。パルサ回路2はパルス巾 T_w の間高周波を発振する回路で、定常状態では安定に f_0 なる周波数を発振する。しかしパルス巾 T_w が狭く、送波器3を負荷とする過渡状態においては発振周波数は正確に f_0 であるとはいえない。 f_0 は例えば2MHzである。送波器3はパルサ回路1によつて駆動され周波数 f_1 なる超音波パルスを次々と列をなして流体中に放射する。振動子は例えばジルコン酸チタン酸鉛微器でダンピングをきかせて自由振動を抑えるようにする。外盛透過方式を行なう場合はプラスチック板に振動子を接着する。振動子の共振周波数は例えば2MHzとする。受波器4は送波器3と同一構造のもので送波器3から直接伝搬する直接波が流体中の経過時間が短いので先ず判別しその後

流体中の粒子からの散乱反射波が到達する。直接波の周波数は f_1 、散乱反射波の周波数は第2図に示す流体の流れの方向では $f_1 + f_d$ である。 f_d はドップラシフト周波数である。受信増幅回路5は入力信号がそのまま出力信号として増幅される。従つて、第3図(b)の受信信号波形が出力信号波形となる。ゲート回路6は第3図(c)に示すゲートをつくる回路である。第3図(c)に於て T_{s1} は送信パルス信号 i' を発射してから直接波信号 p' が受信される直前までの時間で第1ゲート巾 T_{g1} は直接波信号 p' をN波数えるに十分余裕のある時間幅とする。また T_{s2} は送信パルス信号 i' を発射してから散乱反射波信号 r' が受信される直前までの時間で第2ゲート巾 T_{g2} は散乱反射波信号 r' をN波数えるに十分余裕のある時間幅とする。プリセットカウンタ回路8は第1ゲート内に入つた直接波信号 p' の波列で最初にトリガーレベル θ を超えた波からN波を数えるカウンタである。すなわち第3図(b)に示すように振幅がトリガーレベル θ を超え

- 9 -

- 10 -

る波が到達したことを検知してその波の立ち下りが0レベルを切る点すなわち第3図(d)に示す点uでクロックパルスのカウントスタートの信号を出し、直接波信号P'をN波放えた後、N波目の波の立ち下りが0レベルを切る点、すなわち第3図(d)に示す点vでクロックパルスのカウントストップ信号を出すものである。第2ゲートについても同様の動作を行なう。すなわち、第3図(d)の点xおよびyでそれぞれカウントスタートおよびカウントストップの信号を出す。切換器9はクロックパルスをカウントする第1カウンタ回路10と第2カウンタ回路11への入力を選択するものでゲートと同期して切換られる。すなわち、第1ゲートにより直接波信号P'が選択されて第1カウンタ10が動作し、第2ゲートにより散乱反射波信号r'が選択されて第2カウンタ11が動作する。第1、第2カウンタ回路10、11はカウントした計数値を記憶するもので同期信号(a)によつてクリアされる。クロックパルス発生回路12は連続波発振

器で同期信号に関係なくクロックパルスを発生し、例えば100MHz程度の周波数をもつ。音速補正回路14は超音波パルスが送波器3から直接伝達して受波器4に到達する時間を計測して音速の計測を行なう回路である。送信パルス信号の立上りと第1ゲートにおける直接波信号P'の波列の最初の波の立上り時刻との差すなわち第3図(b)に示すTdをクロックパルスによつてカウントする。その計数値を n_d とする。流速演算回路13は計数値 n_1 、 n_2 および n_d を利用して次の演算を行なつて流速Vを表示回路15へ出力する。

(1)式を変形すると次のような式を得る

$$V = \frac{C}{2 \cos \theta} \cdot \frac{f_d}{f_1} \quad \text{----- (2)}$$

一般にパルス巾Twが狭くこれに含まれる高周波の波数が少ない場合には、送波器から発射される高周波波列の最初の部分の周期は定常周期とは異なっている。従つて周波数 f_1 は高周波波列の平均周波数をあらわすものと解釈し、バ

- 11 -

ルサ回路の発振周波数 f_c とは差があるとみて補正手段を案出する必要がある。そのためには直接波信号と散乱反射信号とは流体中に放射された送信信号と波形において相似であることを利用し、それぞれの受信信号をN波づつ数え、その時間幅を比較すればよいわけである。今クロックパルス周波数を f_c とし、直接波信号N波のクロックパルスの数を n_1 、散乱反射波信号N波のクロックパルスの数を n_2 と計数したとすると

$$n_1 = f_c \cdot N / f_1 \quad \text{--- (3)}$$

$$n_2 = f_c \cdot N / (f_1 + f_d) \quad \text{--- (4)}$$

であるから、それらの差をとると

$$f_d = f_c \cdot N \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} \right) \quad \text{--- (5)}$$

が得られ(3)(5)式を(2)式に代入すると

$$V = \frac{C}{2 \cos \theta} \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \quad \text{--- (6)}$$

を得る。

つぎに音速Cを消去するため音速補正回路14

- 12 -

からの計数値 n_d については

$$C = L / \left(\frac{1}{f_c} \cdot n_d \right) = \frac{L \cdot f_c}{n_d} \quad \text{--- (7)}$$

であるから(6)式は

$$V = \frac{1}{2 \cos \theta} \cdot \frac{L \cdot f_c}{n_d} \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \quad \text{--- (8)}$$

となる。したがつて流速演算回路13では(8)式の計算をコンピュータを用いて計算するものである。次に本発明の効果の1つである外壁透過方式による流速測定について詳細に説明する。第4図は外壁透過方式による流速測定の一実施例を示す説明図である。第4図において内径Dをもつ管の中を流体が矢印の方向に流速Vで流れている。この管外壁40は厚さWでこの上に第2図に示す送波器3と受波器4とが流れ方向に対して直角をなす位置に配置されている。送受波器はいずれも振動子42とプラスチック楔43とからなり、送波器から発射される超音波ビームはその大部分が管壁中を反射を繰返しながらか進み流体との境界で一部が流体中に透過す

- 13 -

- 14 -

る。すなわち振動子42から発射された超音波パルスは入射角 ϕ_1 でプラスチック楔43から管外壁40に入射し屈折角 ϕ_2 で管壁内を進み流体との境界の点Aで入射角 ϕ_2 で流体に入射し屈折角 ϕ で流体内を進むことになる。流体と同一速度で流れる粒子に超音波があたると、あらゆる方向に散乱反射波が生ずるが、受波器に有効に受波される方向は第4図に矢印で示すように送信ビームの進行方向と管の中心軸につき対称をなす方向である。したがって第4図の(11)(12)(13)…などの点が効率のよい受信波を与える点となり、連続波よりなる超音波を使用するとこれらの全ての点から反射波が受波される。普通管内を流れる流体の流速は管の中心は遅く、管壁に近い部分は遅くならなければならない。従つて連続波よりなる超音波を使用するときは受信波のドップラー情報から得られる流速は管内の流体の何処の部分の流速か不明となる。本発明になるパルス式超音波ドップラー流速計を使用するときはパルス巾が

狭いので(11)と(12)または(21)の点からの散乱反射波を分離することができる。この事実を具体的数値を設定して証明する。一例として流体として水、管壁に鋼を使用した図4につき、送信点Aを出発した超音波ビームが受信点Bに到達するのに要する経過時間を計算するとつぎのようになる。

$$(1) \text{ 直接波の経路による経過時間 } T_d = \frac{D}{C}$$

$$(2) \text{ 散乱反射波が反射点(11)を経過するときの経過時間}$$

$$T_{11} = \frac{D}{C} \cdot \frac{1}{\cos \phi}$$

$$(3) \text{ 散乱反射波が反射点(12)を経過するときの経過時間}$$

$$T_{12} = T_{21} = T_{11} + \frac{2W}{C_2} \cdot \frac{1}{\cos \phi_2}$$

$$(4) \text{ 散乱反射波が反射点(22)を経過するときの経過時間}$$

$$T_{22} = T_{12} + \frac{2W}{C_2} \cdot \frac{1}{\cos \phi_2}$$

-15-

-16-

ここにCは水中の音速、また C_2 は鋼中の音速を示し、下記の表1は計算に使用する定数表である。

表1

材質	波型	音速 m/s	屈折角度
プラスチック	縦波	2720 = C_1	$\phi_1 = 45^\circ$
鋼	横波	3200 = C_2	$\phi_2 = 56.3^\circ$
水	縦波	1500 = C	$\phi = 22.9^\circ$

ここで表1の定数を採用し、 $D = 100 \text{ mm}$ 、 $W = 4.5 \text{ mm}$ の場合につき計算してみると $T_{11} = T_d = 5.6 \mu\text{s}$ 、 $T_{12} - T_{11} = 5 \mu\text{s}$ となり超音波パルスが受信点Bに到達する状況は最初に直接波が到達し、5.6 μs 経過して反射点(11)を経過する散乱反射波が到達し、次に5 μs 経過して反射点(12)を経過する散乱反射波が到達するのでこれらの波は時間的にパルス巾を狭くしてやれば重畳することがなく分離可能となる。従つて連続波を使用した場合のように何処の反射点からのものか不明なことはなく、この

程度の管以上の大きさをもつ管については外壁透過方式が可能であることになる。

以上説明したように本発明は流体中の音速の自動補正をリアルタイムで行ない、かつ管外壁を透過して流体の流速測定を迅速な応答で高精度に行なうことのできるパルス式超音波ドップラー流速計を提供することができる。

4. 図面の簡単な説明

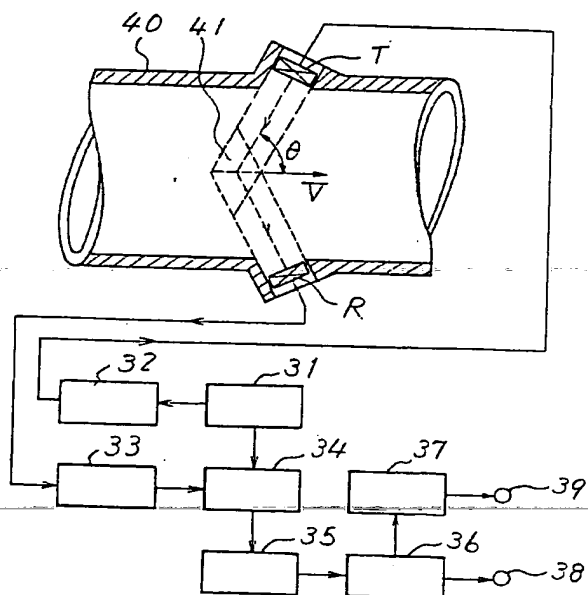
第1図は従来の連続波を用いる超音波ドップラー流速計の原理説明図、第2図は本発明にかかるパルス式超音波ドップラー流速計の1実施例を示すブロック図、第3図は第2図において指示した要所の波形図、第4図は外壁透過方式による流速測定の1実施例を示す説明図である。

1…同期回路 2…パルス回路 3…送波器
4…受波器 5…受信増巾回路
6…ゲート回路 7…信号選択回路
8…プリセットカウンタ回路 9…切換器
10…第1カウンタ回路 11…第2カウンタ回路
12…クロックパルス発生回路 13…流速演算回路

-17-

-18-

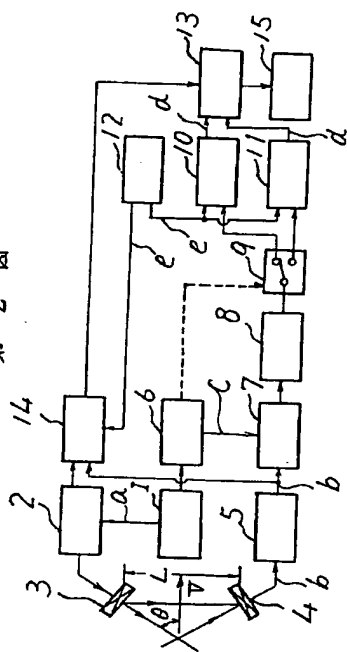
第 1 図



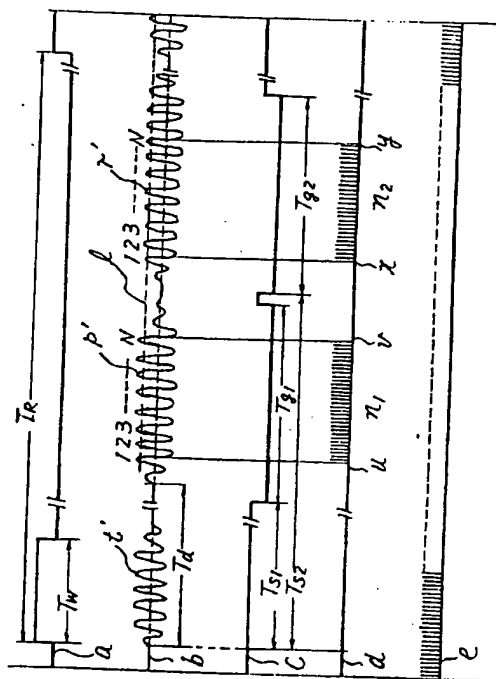
特許出願人 株式会社東京計器

- 19 -

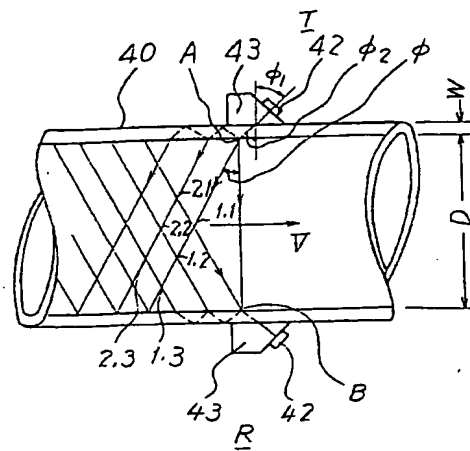
第 2 図



第 3 図



第 4 図



THIS PAGE BLANK (USPTO)